VERSUCHE ÜBER DAS MINIMUMPOTENTIAL VON SPITZENENTLADUNGEN UND ÜBER DEN EINFLUSS ERHÖHTER TEMPERATUREN AUF DASSELBE.

INAUGURAL-DISSERTATION

EINER

HOHEN PHILOSOPHISCHEN FAKULTÄT (II. SEKTION)

DER

KÖNIGLICHEN LUDWIG-MAXIMILIANS-UNIVERSITÄT
ZU MÜNCHEN

ZUR

ERLANGUNG DER DOKTORWÜRDE

VORGELEGT

AM 16. JULI 1906

VON

PETER PRINGSHEIM.

LEIPZIG,
JOHANN AMBROSIUS BARTH.
1907.

Druck von Metzger & Wittig in Leipzig.

Es sei mir gestattet,

Herrn Geheimrat Professor Dr. Röntgen

für die Anregung zu dieser Arbeit und die Unterstützung bei ihrer Ausführung meinen ehrerbietigsten Dank auszusprechen.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548322_0059

Einleitung.

Um eine einfache Beziehung zwischen irgendwelcher Konstanten der verschiedenen Gase und der jedem Gase entsprechenden, zur elektrischen Entladung benötigten Potentialdifferenz oder der entladenen Elektrizitätsmenge abzuleiten, untersuchte W. C. Röntgen zum ersten Male eingehend die fortführende Entladung, die zwischen einer scharfen Spitze und einer großen ebenen Platte bei nicht zu niedrigen Drucken stattfindet.[1]) Es ergab sich u. a., daß unter konstanten äußeren Bedingungen das „Minimumpotential" (M.P.) eine beständige und genau definierte Größe ist, im Gegensatz zum „Anfangspotential" (A.P.), welches anscheinend von einer Anzahl schwer kontrollierbarer Nebenumstände abhängt: während das Potential, bei welchem der Spitzenstrom einsetzt, in weiten Grenzen schwankte, ging bei einer ganz bestimmten Spannung, eben dem M.P., der Galvanometerausschlag, der den von der Spitze zur Platte fließenden Strom anzeigte und mit sinkendem Potential stetig bis auf etwa 4 Skt. abgenommen hatte, sprungweise nach Null. Im wesentlichen erstreckten sich die Untersuchungen nur auf positive Spitzenentladung.

In den zahlreichen späteren Arbeiten, die sich mit dem gleichen Thema beschäftigen, wird über die Art des Eintretens von M.P. (ob der Strom sprungweise oder stetig verschwindet) nichts angegeben; besondere Schwierigkeiten, auch die Konstanz des M.P. betreffend, scheinen nicht aufgetreten zu sein. Doch findet sowohl Warburg[2]) als Tamm[3]), daß für Potentiale, die

1) W. C. Röntgen, Göttinger Nachrichten 1878. p. 390—404.
2) E. Warburg, Wied. Ann. **67**. p. 69—83. 1899.
3) F. Tamm, Ann. d. Phys. **6**. p. 529. 1901.

10 Volt und mehr unter M.P. liegen, noch vorübergehende Stromstöße möglich sind. Demnach wird als M.P. die geringste Spannung definiert, die eben noch imstande ist, einen dauernden Strom zu unterhalten. Erst in den von Warburg veröffentlichten Versuchen des Hrn. Gorton[1]) wird angegeben, daß im allgemeinen die Werte des M.P. für ein und dieselbe Spitze im Verlauf der Zeit nicht konstant bleiben, sondern allmählich wachsen; auch findet sich hier die Angabe, daß, während bei den früheren Versuchen Warburgs der Galvanometerausschlag zuletzt sprungweise verschwand, nunmehr unter gewissen Umständen der Strom stetig nach Null abnahm.

Nach Röntgen ist M.P. immer kleiner als das zugehörige A.P. und — M.P. liegt immer tiefer als + M.P.; nach Precht[2]) beträgt die Differenz zwischen A.P. und M.P. oft mehr als 1000 Volt, nach Tamm im allgemeinen nur 60 Volt; Evers[3]) fand, daß sie meist für negative Spitzenladung weit größer ist als für positive. Nach Warburg[4]) kann — M.P., wenn die Spitze fettig ist, größer sein als + M.P., immer aber ist die der Spitze entströmende Elektrizitätsmenge bei gleichem absolutem Werte des Potentials für negative Entladung weit größer als für positive.

Ferner fand Precht, daß, wenn durch die aus der Spitze ausgeströmte Elektrizitätsmengen die Luft stark elektrisiert ist, das „scheinbare" M.P. sogar höher liegen kann als A.P., jedenfalls aber wesentlich erhöht wird; diese Erscheinung wird auch von Evers bestätigt. Dem steht direkt das von Tamm gefundene Resultat entgegen, wonach für positive und negative Ladungen M.P. sinkt, wenn längere Zeit Elektrizität aus der Spitze ausgeströmt ist, und zwar um so mehr, je höher das Spitzenpotential war; die gleiche Angabe findet sich bei J. Stark[5]), der die Tatsache durch die Erhitzung der Spitze infolge der beträchtlichen Stromdichte erklärt.

Wird während des Versuches die Luft zwischen Spitze und

---

1) E. Warburg u. F. R. Gorton, Ber. d. Deutsch. phys. Ges. **3.** p. 217—224. 1905.

2) J. Precht, Wied. Ann. **49.** p. 150—183. 1893.

3) P. Evers, Ann. d. Phys. **18.** p. 781—860. 1905.

4) E. Warburg, Ann. d. Phys. **2.** p. 295. 1900.

5) J. Stark, Die Elektrizität in Gasen p. 189.

Platte weggeblasen, so wird nach Tamm M.P. erhöht, so daß es mit A.P. zusammenfällt; demnach ist der Grund für die gewöhnlich eintretende Erniedrigung des M.P. lediglich in der Ionisierung des Gases vor der Spitze durch den Strom selbst zu suchen. Dem scheinen die Resultate der schon erwähnten Gortonschen Arbeit zu widersprechen: dieser fand, daß zunächst für eine ganz frische Spitze, welche als „unempfindlich" bezeichnet wird, M.P. und A.P. immer zusammenfallen: „Normalwert" von M.P. Bei längerem Gebrauch wachsen sowohl M.P. als A.P. und zwar ungleich, so daß nun M.P. unter A.P. liegt; ob hierbei ein Grenzwert erreicht wird, ist nicht angegeben; beide Größen nehmen jedoch bei Bestrahlung der jetzt „empfindlichen" Spitze mit Radium (für negative Spitzenladung ist auch ultraviolettes Licht wirksam) temporär wieder den Normalwert an; somit wäre also die Veränderung der Werte von A.P. und M.P. vermutlich im wesentlichen eine Folge der Bildung einer Oberflächenschicht an der Spitze (nicht etwa der Zerstäubung der Spitze!). Hier sei noch erwähnt, daß Warburg auch die ozonisierende Wirkung einer Spitze beim Gebrauch veränderlich fand.

Nach Precht wird M.P. außerdem beeinflußt durch Anwesenheit von Staub und Flammgasen, sowie durch Annäherung eines geerdeten Leiters; nach Przibram[1]), Warburg u. a. in reinen Gasen durch die geringfügigsten Verunreinigungen. Die Wirkung erhöhter Temperatur auf die Intensität des Spitzenstromes in Wasserstoff fand Warburg[2]) sehr gering (untersucht bis + 173°). Abkühlung[3]) bis — 180° vergrößert die Leitfähigkeit; gleichzeitig sinkt M.P., doch scheint dies durch die Dichtigkeitsänderung infolge der Erwärmung an der Spitze erklären zu lassen. Was endlich den Einfluß des Luftdruckes auf M.P. betrifft, so fand Röntgen und ebenso Tamm, daß M.P. bei über 200 mm nahezu proportional mit dem Druck abnimmt, unter 200 mm sinkt M.P. rascher.

Aus den angeführten, sich zum Teil direkt widersprechenden Resultaten darf wohl gefolgert werden, daß das M.P. der Spitzenentladung (bei nicht bestrahlter Spitze) nicht unter allen Umständen

1) H. Przibram, Phil. Mag. (6) 6. p. 176—180. 1903.
2) E. Warburg, Ann. d. Phys. 2. p. 295. 1900.
3) E. Warburg, Berliner Berichte 1902. p. 1062—1067.

eine vollständige scharf definierte und ohne weiteres reproduzierbare Größe ist, wie es, wohl infolge besonders günstiger Versuchsbedingungen, nach den Röntgenschen Beobachtungen anzunehmen war. Dieses zeigte sich auch bei den im folgenden zu beschreibenden Versuchen, welche angestellt wurden, um den Einfluß erhöhter Temperatur auf das M.P. zu bestimmen. Manche der von den verschiedenen Autoren angegebenen, sich anscheinend widersprechenden Erscheinungen traten, wie hier schon vorweggenommen werde, zuweilen hintereinander bei ein und derselben Spitze auf, ohne daß hierfür ein Grund angegeben werden könnte: so fiel A.P. und M.P. manchmal vollkommen zusammen, dann lag M.P. weit unter A.P., und bei einer späteren Beobachtung waren die beiden Werte wieder nahezu gleich; M.P. änderte sich zuweilen in kurzer Frist um 100 Volt, und blieb dann wieder lange Zeit sehr konstant; andererseits konnte aber auch nicht immer durch Bestrahlung der von Warburg eingeführte „Normalwert" des M.P. zuverlässig erhalten werden. Alle diese Widersprüche sind also nicht auf Verschiedenheiten in der Versuchsanordnung — wie z. B. Tamm[1]) annimmt — zurückzuführen, sondern auf geringe außerordentlich schwer zu kontrollierende Nebenumstände.

Die Versuchsanordnung.

Die Versuchsanordnung war, wie auch bei fast allen oben genannten Arbeiten, mit geringen Abänderungen die von Röntgen angegebene: die beiden Pole einer durch einen Elektromotor getriebenen zweiplattigen Holtzschen Maschine konnten vermittelst eines Kommutators abwechselnd geerdet, bez. mit dem Braunschen Elektrometer E, dessen Gehäuse gleichfalls zur Erde abgeleitet war, verbunden werden. Von diesem aus ging ein Zweig der Leitung durch zwei hintereinandergeschaltete verstellbare Widerstände W aus Jodkadmium–Amylalkohollösung verschiedener Konzentration, von denen die verdünnte zur groben, die andere zur feinen Regulierung des Potentials in E diente, zur Erde. Parallel zu dieser Leitung war ein 20 plattiger Kondensator C aus Paraffin-

1) F. Tamm, l. c. p. 530.

papier und Stanniol geschaltet, der die Potentialschwankungen der Influenzmaschine möglichst ausgleichen sollte. Ein dritter Leitungszweig führte von *E* nach der Spitze *S*, welche zentral in einen oben offenen, 5 cm weiten Metallzylinder *P* eingeführt war, so daß die Entfernung von *S* bis zur Bodenplatte des Zylinders 1,5—2 cm betrug. Diese Platte endlich war durch eine Wippe entweder direkt oder durch ein Galvanometer *G* hindurch geerdet, so daß, wenn ein entsprechendes Spitzenpotential erreicht war, ein elektrischer Strom von der Spitze durch die Platte und das Galvanometer zur Erde floß. Später wurde aus weiter unten anzugebenden Gründen die Spitze mit dem Galvanometer verbunden und der Metallzylinder von der Maschine geladen, was ohne jeden Einfluß auf die Erscheinungen

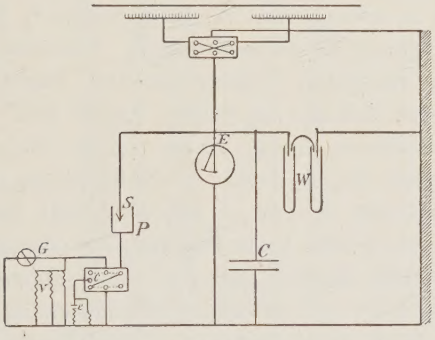


Fig. 1.

blieb, da es für dieselben nur auf die Spannungsdifferenz zwischen Spitze und Platte ankommt.

Zur Strommessung diente ein Dubois-Rubens scher Panzergalvanometer von 4000 Ohm Spulenwiderstand, dessen Empfindlichkeit durch entsprechende Stellung der Richtmagnete auf $4 . 10^{-9}$ Amp. pro Skalenteil bei einem Fernrohrabstand von 2,5 m gebracht wurde. Das Instrument wurde an Stelle des anfänglich verwandten Edelmann schen Drehspulengalvanometers gewählt, weil es bei guter Dämpfung und nahezu aperiodischer Einstellung infolge der geringen Trägheit des schwingenden Systems sehr rasche Schwankungen in der Stromstärke noch deutlich anzeigte; dagegen hatte es den Nachteil, daß die Empfindlichkeit nicht konstant blieb und daher beständig kon-

trolliert werden mußte; zu diesem Zweck konnte das Galvanometer durch einen im allgemeinen geöffneten Quecksilberkontakt *c* in den Nebenschluß zu einem durch entsprechend großen Widerstand geschlossenen Trockenelemente gelegt werden; endlich konnten, um die Empfindlichkeit zu variieren, parallel zum Galvanometer Widerstände *v* von 320, 70 und 5,4 Ohm geschaltet werden. Das Galvanometer stand auf einer Juliusschen Aufhängung und war gegen Luftströmungen durch ein Kartongehäuse geschützt.

Der Entladungsapparat.

Für die Versuche bei hohen Temperaturen waren Spitze und Zylinder in einem von W. C. Heraeus[1]) in Hanau gelieferten Quarzglasgefäß eingeschlossen. Dasselbe ist in seinem 15 cm langen Hauptteil zylindrisch und besitzt dort einen Durchmesser von 5,5 cm; an beiden Enden läuft es im Rohre von 1 cm Durchmesser und 15 cm Länge aus. Durch das untere Rohr geht ein Golddraht *a* als Zuleitung zu dem 5 cm hohen Metallzylinder *P*, der — um möglichst jede chemische Veränderung des Gases beim Erhitzen zu vermeiden — aus dünnem Goldblech besteht und auf dem Boden des Quarzglasgefäßes aufliegt; am unteren Ende ist an dieses Rohr ein gleich weites, durch einen Hahn *H* verschließbares Glasrohr angesetzt und in dieses ist in einem seitlichen Ansatz ein Platindraht eingeschmolzen, der seinerseits mit dem Golddraht verlötet ist. Die Verbindung zwischen Glas und Quarz ist hier ebenso wie an allen anderen Stellen durch Siegellack hergestellt und vollkommen luftdicht.

Auf das obere Ansatzrohr des Quarzgefäßes ist ein kurzes Glasrohr von 0,4 mm innerer Weite aufgekittet und in dieses sind zwei ineinandergesteckte Porzellankapillaren gleichfalls mittels Siegellack eingesetzt, so zwar, daß sie oben um etwa 5 cm aus dem Glasröhrchen herausragen und unten in einer

1) Bei Herstellung, sowie bei den mehrfach notwendigen Abänderungen des Apparates zeigte die Firma Heraeus ganz besonders großes Entgegenkommen, wofür ich auch an dieser Stelle meinen besten Dank aussprechen möchte.

Entfernung von 3 cm vor dem Goldblech enden. Durch das innere Porzellanrohr ist ein 0,2 mm starker Pt–Rh-Draht geführt, in dem Raum zwischen den beiden Kapillaren liegt ein 0,1 mm starker Pt-Draht; diese beiden Drähte sind an der Stelle, wo sie unten aus dem Porzellanrohre heraustreten, durch ein Goldkügelchen miteinander verlötet; während jedoch

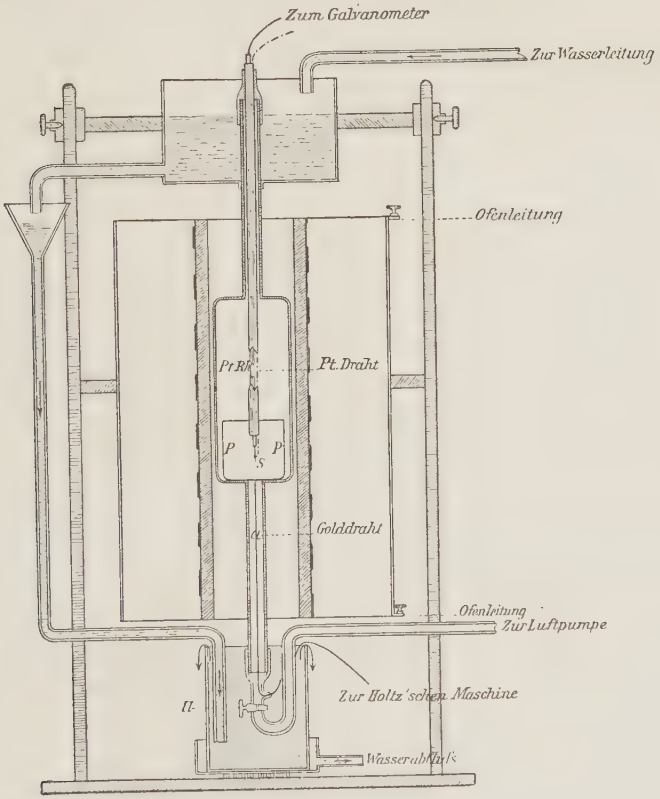


Fig. 2.

der Pt–Rh-Draht in dem Kügelchen endet, steht der Pt-Draht noch um 1 cm daraus hervor und ist zu einer feinen Spitze ausgezogen. An die freien Enden des Pt–Rh-Drahtes, welche sich immer auf Zimmertemperatur befinden, sind Kupferdrähte verlötet, die zu einer Wippe führen; in der einen Stellung schließt diese das aus dem Pt- und Pt–Rh-Draht gebildete

Thermoelement durch ein Zeigergalvanometer; in der anderen Stellung ist der Pt–Rh-Draht mit dem Galvanometer *G* verbunden bez. geerdet, während der Pt-Draht an einem Ende isoliert ist.

Zur Erhitzung wurde das Quarzgefäß in einen elektrischen Ofen von 6,5 cm lichter Weite eingesetzt, wobei besonders darauf zu achten war, daß er dessen Wände nirgends berührte; denn da über 300° Quarz kein guter Isolator mehr ist, wäre sonst der Goldzylinder direkt mit der 110 Volt-Lichtleitung, mit der der Ofen geheizt wurde, verbunden gewesen.

Um das obere Ansatzrohr war etwa 7 cm unter seinem Ende eine Blechwanne festgekittet, und beständig durch diese fließendes Wasser diente zur Kühlung der oberen Dichtungen. Zwei seitlich an die Wanne festgelötete Messingrohre wurden in Klammern, die am Ofenstativ angebracht waren, festgeschraubt und trugen so den ganzen Apparat. Das unten aus dem Ofen herausragende Ende des Quarzrohres tauchte in ein durch eine untergelegte Paraffinplatte vom Boden isoliertes Glasgefäß und wurde gleichfalls durch fließendes Wasser gekühlt. Während der Beobachtung wurde die Wasserleitung unterbrochen, um einen Nebenschluß zur Erde durch dieselbe zu vermeiden.

War der Hahn *H* zugedreht, so wurde das ganze abgeschlossene Gasvolumen mit Ausnahme der kurzen, aus dem Ofen herausragenden Stücke des engen Quarzrohres gleichmäßig erwärmt, und da diese Stücke im Verhältnis zum Inhalt des weiten Quarzzylinders, der sich in der Mitte des 30 cm langen Ofens befand, sehr klein sind (sie betragen etwa 2 Proz.), so kann annähernd die Gasdichte im Entladungsapparat als konstant angenommen werden.

Die Gasfüllung des Entladungsapparates.

Die Versuche wurden teils in staubfreier getrockneter atmosphärischer Luft, teils in reinem Stickstoff ausgeführt. Für die ersteren Versuche wurde das Entladungsgefäß unter gleichzeitiger Erwärmung auf über 100° wiederholte Male evakuiert und mit Luft gefüllt, die durch konzentrierte Schwefelsäure, Chlorcalcium und Phosphorpentoxyd getrocknet und durch einen 20 cm langen Pfropfen aus reiner Watte von

Staub befreit war; der Druck wurde mit Hilfe eines durch ein T-Stück seitlich angesetzten offenen Quecksilbermanometers gemessen.

Der Stickstoff wurde durch gelindes Erwärmen einer Lösung aus neun Teilen Wasser und je einem Teil Ammoniumnitrat, Natriumnitrit und Kaliumbichromat erzeugt Das entwickelte Gas wurde durch Waschflaschen mit Kaliumpermanganat- und Eisensulfatlösung, Kalilauge und Schwefelsäure geleitet, dann durch ein weites Glasrohr von 60 cm Länge, das in seiner ersten Hälfte mit Phosphorpentoxyd, in der zweiten Hälfte mit reiner Watte gefüllt war, ferner durch ein Verbrennungsrohr, das glühendes Kupferdrahtnetz enthielt. Hinter diesem lag ein Dreiweghahn I, dessen eine Öffnung mit der äußeren Luft kommunizierte. Hierauf passierte das Gas ein Spiralrohr, das in flüssige Luft, oder auch bei einigen Füllungen in eine Mischung von fester Kohlensäure und Alkohol eintauchte; dann nochmals einen Hahn II. Dieser führte durch ein T-Stück zu einer Quecksilberluftpumpe und zum Quarzgefäß. Alle Verbindungen waren verblasen oder, wo dies nicht möglich, mit Siegellack gekittet; sämtliche verwandten Glasrohre waren vor der Zusammensetzung mit Salpetersäure und destilliertem Wasser gereinigt worden.

Sollte der Entladungsapparat mit Stickstoff gefüllt werden, so wurde zunächst das ganze System bis zum Dreiweghahn wiederholt evakuiert und mit trockener Luft gefüllt, dann das Quarzrohr unter beständigem Pumpen bis zur Rotglut erhitzt, so daß der Goldzylinder möglichst alle eingeschlossenen Gase abgab. Inzwischen wurde eine Stunde lang das Röhrensystem vor dem Dreiweghahn mit Stickstoff durchgespült. War der Ofen wieder auf Zimmertemperatur abgekühlt, so wurde der Dreiweghahn so gestellt, daß der Stickstoff zur Pumpe bez. in das Quarzrohr strömte; dies Verfahren wurde viermal wiederholt; bei der letzten Füllung wurde der Hahn II geschlossen, wenn im Entladungsgefäß der gewünschte Druck p hergestellt war; zu dessen Messung genügte es, die Höhe der Quecksilbersäule in dem an der Pumpe angebrachten Mac Leodmanometer und den Barometerstand zu bestimmen.

Eichung des Thermoelementes.

Die Temperaturen wurden mit Hilfe des oben beschriebenen Thermoelementes Pt–Pt.Rh gemessen; infolge des geringen Querschnittes der verwendeten Drähte betrug deren Widerstand bei Zimmertemperatur ca. 11 Ohm, und da die Drähte zum Teil aus dem Ofen herausragten, wuchs derselbe beim Erhitzen des Apparates in einem nicht ohne weiteres anzugebenden Verhältnis; jedenfalls aber kam der Widerstand des Thermoelementes und seine Änderung wesentlich in Betracht gegenüber dem inneren Widerstand des zur Temperaturmessung gebrauchten Zeigergalvanometers von Keiser und Schmidt, der nur 106 Ohm betrug. Ferner war die Thermokraft des Elementes nicht die gleiche, wie sie in den Tabellen für Pt–Pt=Rh angegeben wird; es wurde deshalb zunächst die Thermokraft des Elementes mit Hilfe eines empfindlichen Drehspulengalvanometers (1 Skt. $= 6{,}06 \cdot 10^{-10}$) gemessen, welches im Nebenschluß zu dem durch 12000 Ohm geschlossenen Thermoelement lag. Die entsprechenden Temperaturen wurden mit einem von der physikalischen Reichsanstalt geprüften Thermoelement bestimmt, für das eine genaue Eichungskurve vorlag. Zur Vergleichung der beiden Elemente wurde in den Boden der Eisenschutzhülle, in welcher sich das geprüfte Instrumen (*I*) befand, ein Loch gebohrt und durch dieses die Porzellankapillare mit dem Element II eingeführt, so daß die zu erwärmenden Lötstellen vor I und II sich berührten, und in dem elektrischen Ofen, in dem sie erhitzt wurden, zuverlässig die gleichen Temperaturen annahmen. Vor jeder Ablesung wurde die Temperatur des Ofens eine Viertelstunde konstant gelassen und dann die elektromotorischen Kräfte der beiden Elemente unmittelbar nacheinander durch den Galvanometerausschlag bestimmt. Als zusammengehörige Werte ergaben sich:

Elektromotorische Kraft in $^1/_{1000}$ Volt		Temperatur (nach dem Prüfungsschein von I)
I	II	
1,51	0,97	215°
2,68	1,82	356
3,98	3,40	492
4,79	4,11	582
6,30	4,60	733
6,47	4,71	744

Dann wurde die Spitze mit dem Thermoelement II in das Quarzrohr eingesetzt und dieses in der gleichen Weise wie bei den eigentlichen Versuchen in den elektrischen Ofen gebracht und erhitzt. Das Element wurde abwechselnd durch das Keiser und Schmidtsche Galvanometer und das zur vorhergehenden Messung verwandte Drehspulengalvanometer geschlossen und so das erstere empirisch geeicht, indem die den einzelnen Ausschlägen entsprechenden Temperaturen der obigen Tabelle entommen wurden; die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle enthalten:

Tatsächliche elektromotorische Kraft	Temperatur	Galvanometerausschlag (Millivolt)
1,05	225°	1,05
2,10	395	1,85
2,85	505	2,55
3,48	595	3,03
4,00	660	3,45
4,62	735	4,00

In der folgenden Eichungskurve (Fig. 3) geben die Ordinaten die Temperatur in 100° C., die Abszissen die elektromotorische Kraft in Millivolt; in Kurve I und IIa sind die elektro-

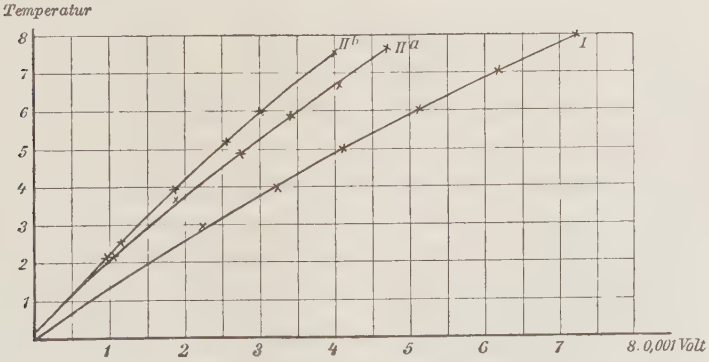


Fig. 3. Eichungskurven des Thermoelementes.

motorischen Kräfte der Elemente I und II als Funktionen der Temperatur veranschaulicht, IIb ist die Eichungskurve des Keiser und Schmidtschen Galvanometers, dessen Skala in „Millivolt“ geteilt ist, für das Element II.

Versuche in atmosphärischer Luft bei Zimmertemperatur.

Die Versuche wurden teilweise in einem dem beschriebenen Quarzapparat ganz gleichen Glasgefäß ausgeführt. Bei Atmosphärendruck und Zimmertemperatur trat im allgemeinen für positive Spitzenladung (bez. negative Plattenladung) M.P. in der von Röntgen beschriebenen Weise ein, daß nämlich die Stromstärke mit sinkendem Spitzenpotential bis auf einen noch deutlich meßbaren Wert herabging, um dann bei geringer weiterer Erniedrigung der Spannung ganz zu verschwinden. M.P. und A.P. waren bei ein und derselben Spitze manchmal um 100 Volt und mehr verschieden, dann wieder fielen sie vollständig zusammen, ohne daß hierfür ein Grund gefunden werden konnte. War längere Zeit ein starker Strom durch die Spitze gegangen, so stieg M.P., um jedoch den ursprünglichen Wert wieder anzunehmen, wenn die Spitze einige Zeit ausgeruht war. Im übrigen blieb M.P. meist sehr konstant. So war für eine Spitze

Tabelle I.

am 27./VII. 05	25./X. 05	18./I. 06.
M.P. = 2120	2120	2110

Dieselbe war am 27./VII. 05 frisch in den Apparat eingesetzt worden und wurde in der ganzen Zeit nicht herausgenommen, wohl aber zu einer großen Anzahl von Versuchen verwendet.

Ganz anders war das Verhalten bei negativer Spitzenladung: Hier trat, wenn die Spitze ganz ungebraucht war, zunächst bei einem Potential, das weit unter dem später bestimmten positiven M.P. lag, eine Entladung ein und erniedrigte man die Spannung, so verschwand der Strom wieder bei dem gleichen Potential, indem der Galvanometerausschlag stetig nach Null ging; dieser Wert des — M.P. ist der von Warburg und Gorton als Normalwert bezeichnete. War die Spitze einige Zeit in Gebrauch, so konnte ein *dauernder* negativer Spitzenstrom nur bei sehr viel höheren Spannungen erhalten werden, während sehr starke stoßweise Entladungen schon lange vorher auftraten. In diesen Fällen lag — M.P.,

definiert als die Spannung, welche eben noch einen dauernden Strom zu unterhalten imstande ist, zuweilen bedeutend höher als das entsprechende + M.P.; doch war dieses (scheinbare) — M.P. dann keineswegs konstant, sondern schwankte häufig innerhalb kurzer Zeit um mehr als 100 Volt.

Eine frisch ausgezogene Platinspitze ergab die folgenden Werte (die Spannung V der Spitze in Volt, die Stromstärke J in Skalenteilen des Galvanometers angegeben); welcher Widerstand zum Galvanometer parallel geschaltet war, zeigen die Indizes ∞, (320), (70).

Tabelle II.

1.	$V-$	1200	1300	1200									
	J_∞	0	100	0									

(Der Strom verschwand ganz stetig; kein merklicher Sprung.)

2.	$V-$	1200	1250	1300	1280	1400[1])	1500						
	J_∞	0	25	100	0	250; 20	120						
						≺≻	≺≻						
3.	$V-$	1350	1500		1600	1550	1500	1400	1350	1300	1250		
	J_∞	0	150–40		$_{(320)}$70	60	40	340	100	10	0		
			≺≻					≺≻	≺≻	≺≻			
4.	$V-$	1200	1300	1400		1500[2])	1600	1580	1700	1800	2000	2100	2150	2100
	J_∞	0	100	250–350	20; 0	$_{(320)}$75		0	0	2	200; 0	0	320	0
			≺≻	≺≻	≺≻					≺≻				
5.	$V-$	1800	1900	2000		2100	2200	2300	2150	2100				
	J_∞	0	3; 0	5; 0	$_{(320)}$300; 0		0	400	300	0				
6.	$V+$	2050	2100	2090		2080								
	J_∞	0	360	249		0								

Zwischen je zwei Versuchen liegt ein Zeitraum von 20 Min., nur zwischen 4. und 5. ein ganzer Tag.

Bei anderen Versuchsreihen traten die stoßweisen Entladungen noch viel deutlicher und bis zu weit höheren Spannungen auf, besonders wenn schon einmal längere Zeit ein starker Strom durch die Spitze gegangen war; so war für den Apparat, dessen positives M.P. in Tab. I angegeben ist:

---

1) Der konstante Ausschlag 250 verschwand plötzlich; die mit ≺ ≻ unterstrichenen Zahlen bedeuten stoßweise um den betreffenden Wert schwankende Ausschläge.

2) Zuerst eine kurze Zeit konstanter Ausschlag 20, der dann ohne merkliche Potentialänderung wieder verschwindet.

Tabelle Ia.

$V-$	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400 (+ M.P. = 2120)	2500
J_∞	0	100; 0 ↔	200; 0 ↔	500; 0 ↔	300 ↔	500; 0; 500 ↔	$_{(320)}$340	0—70 ↔

Diese Erscheinung blieb gleichfalls während der ganzen Zeit, in welcher der Apparat abgeschlossen stand, erhalten; sie zeigte sich auch, als die Influenzmaschine durch Hochspannungsakkumulatoren ersetzt wurde; ebenso traten die stoßweisen Entladungen noch auf, nachdem, um letzte Staubreste zu entfernen, die ganze Innenseite des Apparates mit Glyzerin benetzt worden war. Sie dürften sich somit weder durch starke Schwankungen des Spitzenpotentials, noch auch durch Staubteilchen, die sich an der Spitze ansetzten und bei entsprechend hohen Spannungen plötzlich fortgeschleudert würden, erklären lassen. Diese „zuckenden Entladungen" wurden auch von Wesendonck[1]) beobachtet. Er fand, daß sie ohne ersichtlichen Grund manchmal schon 300 Volt vor dem Einsetzen eines dauernden Stromes auftreten; da sich die Arbeit jedoch lediglich mit dem Anfangspotential der Spitzenentladungen beschäftigt, wird nicht angegeben, ob, nachdem ein dauernder Strom eingeleitet worden ist und dann das Spitzenpotential erniedrigt wird, auch wieder die stoßweisen Entladungen sich zeigen. Im übrigen folgen sich zuweilen diese Stöße so dicht, daß sie mit einem langsam schwingenden Galvanometer kaum von dauernden Strömen zu unterscheiden sind.

Nach Gorton müßte bei Bestrahlung der Spitze mit Radium temporär wieder der ursprüngliche „Normalwert" des M.P. auftreten; derselbe konnte jedoch nicht immer vollständig erreicht werden, als der Spitze ein starkes Radiumpräparat gewährt wurde, wohl aber wurde — M.P. wesentlich erniedrigt und die noch darunter auftretenden stoßweisen Ausschläge folgten sich sehr dichter; Annäherung eines schwächeren Präparates hatte die gleiche Wirkung in geringerem Grade.

Eine frisch in das Quarzgefäß eingesetzte Spitze ergab die folgenden Werte:

1) K. v. Wesendonck, Wied. Ann. 65. p. 117—122. 1898.

Tabelle III.

$V-$	1300	1400	1600	1900	2200	2500	2400
J_∞	0	20; 0	00; 0—10 ↔	500; 0	(320)150 ↔	280	100—250 ↔

Nachdem die Spitze einige Zeit in Gebrauch war:

$V-$	1800	1900	2200	2400	2500	2400	2300
J_∞	0—2 ↔	0—5 ↔	100 ↔	(320)250 ↔	290	200 ↔	10 ↔

Das starke Radiumpräparat genähert (15 mg Radiumbromid):

$V-$	1300	1400	1500	1700	1800	1900
J_∞	0	1[1]) ↔	3 ↔	40	100	230

Das schwächere Radiumpräparat genähert:

$V-$	1300	1400	1600	1700	1800	1900	2000
J_∞	0	?	2	5	12	20—30	50—70

Radium entfernt:

$V-$	2200	2210	2250	2210	2200	
J_{320}	0	30; 0; 40; 0	200	0—10 ↔	0	

Um zu sehen, ob diese Wirkung lediglich eine Folge der Ionisation der Luft in der Nähe der Spitze ist, wurde

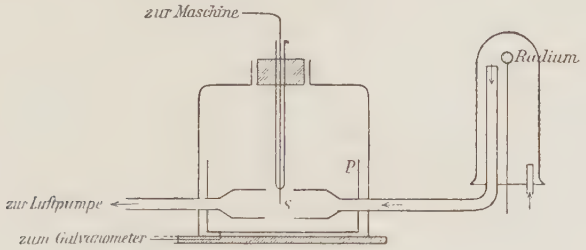


Fig. 4.

über das Radium geleitete Luft langsam an der Spitze vorbeigesaugt, während eine direkte Bestrahlung durch einen Bleischirm abgeblendet wurde; dies blieb ohne merklichen Einfluß auf die Entladung. Für diese Untersuchung wurde eine in ein enges Glasrohr eingeschmolzene Platinspitze vermittelst eines Hartgummistopfens, in dem das Röhrchen festgekittet war, in eine tubulierte Glasglocke von 6 cm Durchmesser eingesetzt;

1) Bei diesen kleinen Ausschlägen ist sehr schwer zu entscheiden, ob sie konstant oder „zuckend“ sind.

dieselbe stand auf einer Paraffinplatte und enthielt einen Messingblechzylinder von den gleichen Dimensionen, wie er auch in den sonstigen Entladungsapparaten gebraucht wurde; nur war in der Höhe der Platinspitze das Blech an zwei diametral gegenüberliegenden Stellen durchbohrt, welche mit zwei Öffnungen in der Glasglocke korrespondierten; durch diese waren Glasrohre eingeführt, die sich im Innern des Zylinders erweiterten und dicht bei der Spitze endeten; das eine Rohr führte zur Wasserstrahlpumpe, das andere bis zum Boden eines weiten Glasgefäßes, welches, in eine Glaskapsel eingeschlossen, 15 mg reines Radiumbromid enthielt. Wurde die Pumpe geöffnet, so wurde ein über das Radiumbromid geleiteter Luftstrom an der Spitze vorbeigesaugt:

Tabelle IV.

			Luftstrom unterbrochen		Direkt mit Radium bestrahlt	Radium entfernt
V	− 1800	2000	2100	2100	2100	2100
J	10	20	20	30	250	20
	←→	←→	←→	←→		←→

Die Bestrahlung mit einer Bogenlampe hatte auf − M.P. ungefähr die gleiche Wirkung wie mit Radium; keinerlei Einfluß zeigte die Belichtung mit einer Uviol–Quecksilberbogenlampe.

Bei Erniedrigung des Gasdruckes verschwinden diese stoßweisen Entladungen vollständig und die Erscheinungen nehmen die auch sonst beschriebene Form an. Schon bei $p = 600$ mm war − M.P. meist ganz scharf und etwas kleiner oder nahe gleich + M.P.; bei weiterer Druckerniedrigung sinken + M.P. und − M.P. auf immer geringere Werte herab, jedoch nimmt letzteres rascher ab, so daß der polare Unterschied immer deutlicher hervortritt.

Tabelle V.

$p =$	720	600	495	394	310	195	715 mm
+ M.P. in Volt	2090	1950	1780	1630	1520	1310	2100
− M.P. in Volt	2150[1])	1900[2])	1580	1320	1150	930	2210[1])

Vielleicht läßt sich hierdurch das Fehlen der stoßweisen Entladungen und die Regelmäßigkeit im ganzen Eintreten des

1) Darunter noch stoßweise Entladungen.
2) Bis 1800 stoßweise Entladungen.

M.P. in den Röntgenschen Versuchen erklären; wenigstens findet sich unter den als Beispiele angeführten Versuchsreihen eine einzige[1]), bei der M.P. für $p = 615$ mm bestimmt wurde; bei allen anderen Versuchen liegen die Drucke unter 400 mm. Bei diesen Drucken aber war auch bei meinen Versuchen — M.P. sehr deutlich und meist auch ganz konstant. Jedenfalls spricht der Umstand, daß die stoßweisen Entladungen bei Druckerniedrigung verschwinden und durch Bestrahlung mit ultraviolettem Licht oder Radium beeinflußt werden, gegen die Annahme, daß sie lediglich durch den Staubgehalt der Luft und dergl. hervorgerufen werden, aber auch gegen die Erklärung Wesendoncks[2]), der als Grund für die große Unregelmäßigkeit in der Erscheinung die Ablösung von Spitzenteilchen annimmt.

Versuche bei erhöhten Temperaturen in atmosphärischer Luft.

Um bei der Erwärmung das Quarzgefäß keinen zu großen inneren Überdrucken auszusetzen, wurden Versuche nur bei Drucken von 400 mm abwärts (bei Zimmertemperatur) angestellt. Ferner war es nötig, die schon oben erwähnte Änderung in der Schaltung vorzunehmen. War nämlich, wie zuerst, der Goldzylinder mit dem Galvanometer verbunden, so ging, auch wenn vor Anfang und nach Beendigung des Versuches das Quarzgefäß die Ofenwände zuverlässig nicht berührte, bei beginnender Rotglut ein mit wachsender Temperatur zunehmender Strom von der zur Heizung benutzten Lichtleitung zum Galvanometer, der jede sonstige Beobachtung unmöglich machte; wurde die Ofenleitung ausgeschaltet, so setzte auch der Strom im Galvanometer aus.[3]) Um diese Störung zu vermeiden, wurde daher der Zylinder mit der Maschine geladen und die Spitze mit dem Galvanometer verbunden; daß diese Vertauschung von Spitze und Platte ohne

1) l. c. p. 295.

2) K. v. Wesendonck, Wied. Ann. **39.** p. 577. 1890.

3) Daß schon bei sehr niedrigen Spannungen bei Rotglut in Luft ein elektrischer Strom möglich ist, wurde wohl zuerst von Blondlot festgestellt. Compt. rend. **92.** p. 870. 1881.

Einfluß auf die Erscheinungen sein würde, war wohl ohne weiteres anzunehmen, da ja durch die Seitenwände des Zylinders Wirkungen von einer etwaigen Ladung des Quarzgefäßes auf die Spitze ausgeschlossen waren, wurde jedoch auch durch den Versuch bestätigt.

Spitze negativ geladen: M.P. = 1310 Spitze positiv geladen: 1550
Platte positiv geladen: M.P. = 1300 Platte negativ geladen: 1550

Aber auch in dieser Schaltung war der Temperaturerhöhung durch die Leitung vom Quarzgefäß zu den Ofenwänden eine obere Grenze gesetzt; über 600° wurde dieselbe nämlich so groß, daß die Influenzmaschine nicht mehr genug Elektrizität liefern konnte, um die Platte auf das nötige Potential zu laden; und zwar war diese Erscheinung ausgesprochen unipolar, indem bei etwa 650° der Zylinder positiv noch recht wohl auf 1000 Volt und darüber geladen werden konnte, während die negative Spannung nicht über 500 Volt erhöht werden konnte.[1])

Erhitzung beeinflußte gleichfalls die positive und negative Spitzenentladung in wesentlich verschiedener Weise, indem sich auch hier die Verhältnisse für die positive Spitze (bez. negative Platte) konstanter zeigten und zwar bei allen untersuchten Gasdrucken. Erwärmung bis auf etwa 150° vergrößert + M.P. etwas (um 50—100 Volt); durch weitere Temperatursteigerung wird M.P. nicht mehr wesentlich geändert, nur verliert es an Schärfe und es treten, was bei Zimmertemperatur nie beobachtet wurde, darunter noch momentane Entladungen ein, bis die Spannung auf das ursprüngliche (bei Zimmertemperatur herrschende) M.P. gesunken ist; mit ein und derselben Spitze wurden die folgenden Werte erhalten.

Tabelle VI.

Druck in mm	Temperatur	+ M.P. in Volt	Bemerkungen
715	20°	2100	
	210	2200	Darunter Stöße bis 2150
	20	2100	

1) Daß bei Rotglut die Entladung je nach der Natur des als Elektrode dienenden Körpers polar verschieden ist, hat u. a. Branly festgestellt. Compt. rend. 114. p. 1521. 1892.

Tabelle VI (Fortsetzung).

Druck in mm	Temperatur	+ M.P. in Volt	Bemerkungen
400	20°	1680	
	230	1730	
	395	1720	
	570	1790	Darunter stoßweise Ausschläge bis 1710
	20	1670	
302	20°	1520	
	300	1600	
	435	ca. 1600	Bis 1510 stoßweise Ausschläge, so daß M.P. nicht recht scharf
	590	1580	Desgl.
	650	ca. 1520	(Nicht genau zu beobachten)
	20	1530	
201	19°	1300	
	150	1380	
	390	1390	
	560	1410	Darunter bis 1350 zuckende Ausschläge
	640	ca. 1400	Darunter bis 1320 zuckende Ausschläge
	18	1310	
105	20°	1070	
	90	1100	
	390	1110	
	560	1090	
	640	1090	Darunter schwankende Ausschläge
	20	1070	
20	20°	830	
	200	870	
	420	880	
	530	850	Darunter Stöße bis 830
	640	830?	Nicht sehr deutlich; möglicherweise
	20	840	stetiges Verschwinden des Ausschlages

Wie man sieht, nimmt + M.P. nach dem Erkalten des Apparates wieder seinen ursprünglichen Wert mit voller Schärfe und Deutlichkeit an; die betreffenden Beobachtungen wurden meist erst an dem auf die übrige Versuchsreihe folgenden Tage gemacht. Die Genauigkeit der Beobachtung bei den Temperaturen über 500° wurde noch durch folgende Erscheinung beeinträchtigt: es wurde schon bei ganz niedrigen

Spannungen vom Galvanometer ein Strom angezeigt, der mit dem Plattenpotential anwuchs, und zumal bei der höchst erreichten Temperatur von etwa 650° so hohe Werte annahm, daß das Einsetzen des ja zunächst nicht sehr starken positiven Spitzenstromes nicht ganz sicher erkannt werden konnte[1]); es konnte deshalb auch nicht festgestellt werden, ob nicht vielleicht bei diesen Temperaturen auch der positive Strom stetig (ohne Sprung) verschwindet; so war z. B. in der letzten oben angeführten Versuchsreihe ($p = 20$ mm) bei 640°:

$V -$	300	500	700	800	850	830	820	800	700
J_{320}	11	15	18	20	130	100	40	20	18

Immerhin liegt + M.P.[2]) hier sicher zwischen 850 und 800 Volt.

Die Stromstärken, welche gleichen Potentialen entsprechen, bleiben bei Erwärmung bis zu 200° innerhalb der auch sonst vorkommenden Schwankungen unverändert[3]); bei weiterer Temperaturerhöhung wachsen sie, und zwar bei niedrigen Drucken schneller als bei höheren; die folgenden Tabellen geben die Stromstärken als Funktion des Potentiales bei verschiedenen Temperaturen und Drucken; die Spannungen sind in Volt, die Stromstärken in willkürlichen Einheiten (gleich 1 Skt. des Galvanometers, wenn 320 Ohm parallel geschaltet) angegeben.

Tabelle VII.

Temp.	$p = 200$ Spannung	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900
20	Stromstärke	0	1	3,5	7	12	18	24	31
150		0	0	3,5	6,5	12	19	25	33
390		0	0	0	10	17	25	38	
560		0,1	0,1	6	12	19,5	30	42	
640		0,9	1	ca. 7	12	20	32	45	

1) Die Platte ist negativ geladen, also positiver Spitzenstrom.

2) Auch dieser Strom ist wohl eine Folge der in der Anm. 1 p. 22 erwähnten Entladung zwischen glühenden Elektroden; als solche dienen hier das Quarzrohr und die den Pt-Draht einschließenden Porzellankapillare, welche im glühenden Zustande ziemlich gute Leiter sind.

3) Dies entspricht auch den Beobachtungen Warburgs für Wasserstoff bei Erwärmung auf 173° (Ann. d. Phys. 2. p. 295. 1900).

Tabelle VIII.

Temp.	$p = 400$ Spannung	1700	1800	1900	2000	2100
20	Stromstärke	2	4,5	7,5	10,5	14
230		0	4	7,5	11	15
395		0	7,5	8	13	17,5
570		0	5	9	13,5	18

Negative Spitzentladung zeigt zunächst bis etwa 200° das gleiche Verhalten wie die positive: M.P. wird etwas erhöht und darunter treten noch kurze Zeit momentane Stöße auf; diese Änderung ist manchmal nur sehr gering. Bei weiterer Temperaturerhöhung (im Intervall von 200° bis etwa 500°) sinkt M.P. ein wenig und es treten allmählich wachsend oft noch bis zu 200 Volt unter M.P. heftige momentane Stromstöße auf, die, wenn längere Zeit ein dauernder Strom durch die Spitze gegangen ist, verschwinden. Über 500° sinkt M.P. sehr bedeutend, und während zuerst ein plötzliches (unstetiges) Verschwinden des noch ziemlich starken Stromes zu beobachten war, gehen jetzt die Galvanometerausschläge mit sinkendem Potential zwar sehr schnell, aber doch stetig nach Null; infolgedessen ist M.P. nicht absolut scharf zu bestimmen. Auch fallen nunmehr A.P. und M.P., die sonst wesentlich verschieden voneinander waren, immer vollständig zusammen; der Verlauf der Erscheinungen ist bei verschiedenen Drucken qualitativ der gleiche; vor allem ist auch die Temperatur, bei welcher die starke Erniedrigung von M.P. auftritt, vom Druck abhängig.

Die im folgenden mitgeteilten Versuchsreihen korrespondieren mit denjenigen über +M.P. auf p. 22 und 23, indem immer abwechselnd eine Beobachtung mit positiver und mit negativer Ladung gemacht wurde.

Tabelle IX.

Druck in mm	Temperatur	−M.P. in Volt	Bemerkungen
715	20°	2100	Darunter Stöße bis 1800
	210	2150	Desgl.
	20	2100	Desgl.

Tabelle IX (Fortsetzung).

Druck in mm	Temperatur	−M.P. in Volt	Bemerkungen
400	20°	1610	
	230	1680	
	395	1700	Darunter bis 1500 stoßweise Entladungen
	480	ca. 1100	Stetiges Verschwinden des Stromes, der zuletzt sehr schwach
	565	1090	Deutlich stetiger Übergang nach Null
	670	1090	
	20	1600	
302	20°	1310	
	300	1420	Darunter bis 1350 Stoße
	435	1420	Darunter bis 1150 Stöße
	590	920	
	650	930	
	735	ca. 940	
	590	910	Beim Erkalten des Ofens
	435	1500	Darunter bis 1200 Stöße
	20	1500 [1])	
200	20°	1050	
	230	1100	
	410	1100	Darunter Stöße bis 950
	490	1000	Darunter Stöße bis 820
	620	830	
	700	820	
	730	830	
	20	1050	
105	20°	800	
	180	830	
	370	800	Darunter Stöße bis 780
	560	690	Deutlich stetiger Ubergang nach Null
	740	690	
	20	800	
20	20°	540	
	210	600	
	420	550	Darunter Stöße bis 540
	420	550	Darunter Stöße bis 490
	590	500	Stetiger Übergang nach Null
	650	500	Desgl.
	20	550	

1) Bei einer anderen Versuchsreihe bei gleichem Druck wurde auch hier wie gewöhnlich am Ende des Versuches wieder der ursprüngliche Wert von M.P. = 1300 erreicht.

Beim Abkühlen des Apparates sind die Erscheinungen im allgemeinen die gleichen wie beim Erwärmen, nur treten dann meist noch bei tiefer liegenden Temperaturen unter M.P. stoßweise Entladungen auf; befindet sich der Ofen wieder auf Zimmertemperatur, so nimmt gewöhnlich auch —M.P. wieder seinen Anfangswert an. Nach Gorton müßte, nachdem die Spitze in trockener Luft geglüht ist, wieder der „Normalwert" des —M.P. auftreten; dies war nie der Fall, auch nicht, wenn während des Abkühlens weiter keine Entladung mehr durch die Spitze gegangen war. Dagegen war in zwei Fällen ohne angebbaren Grund nach dem Erhitzen —M.P. um über 100 Volt gestiegen, während +M.P. unverändert geblieben war; nach einiger Zeit nahm auch —M.P. wieder seinen ursprünglichen Wert an (das eine Mal erst, nachdem die Luft im Apparat gewechselt war).

Es ist zu bemerken, daß die Abnahme des M.P. durch die Erhitzung bei niedrigen Drucken viel geringer ist als bei hohen, und zwar nicht nur absolut, sondern auch relativ; bezeichnen wir mit M_0 das —M.P. bei Zimmertemperatur und mit M_T das —M.P. bei Glut, so ist:

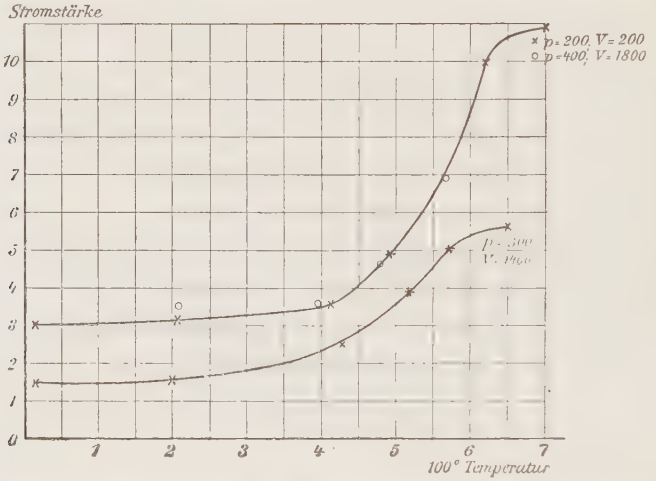
Tabelle X.

p in mm	400	300	200	1000	20	
$M_0 - M_T$	510	370	230	110	40	Volt
$\frac{M_0}{M_T}$	1,47	1,40	1,24	1,16	1,08	

Somit scheinen bei Druckerniedrigung M_0 und M_T dem gleichen Grenzwert zuzustreben. Daß andererseits der Unterschied bei höheren Drucken noch größer wird, darf wohl angenommen werden, da, wie wir sahen, M_0 dann außerordentlich hoch (sogar noch über +M.P.) zu liegen pflegt.

Die Kurven der Stromcharakteristik, welche die Stromstärke als Funktion des Spitzenpotentiales geben, zeigen bei Temperaturzunahme annähernd das gleiche Verhalten für negative Spitzenladung, wie es für den positiven Strom beschrieben wurde; zunächst nehmen die gleichen Potentialen entsprechenden Stromstärken sehr langsam zu, wenn der Apparat erwärmt wird; bei einzelnen Versuchsreihen, die mit der gleichen Spitze wie alle anderen ausgeführt wurden, nahm ohne angebbaren

Grund J anfangs sogar ein wenig ab; bei einem darauf folgenden Versuch, bei dem alles (auch der Druck und die Luftfüllung) unverändert geblieben, trat dann wieder der normale Verlauf ein. Bei weiterer Erhitzung über 400° wachsen die Stromstärken rascher, die Charakteristiken werden wesentlich steiler, und zwar bei niedrigen Drucken schneller als bei hohen[1]); betrachtet man jedoch die Zunahme der einem Potential entsprechenden Stromstärke im Verhältnis zur anfäng-



Zunahme der Stromstärke mit der Temperatur bei konstantem Potential V.
Fig. 5.

lichen Stromstärke bei gleichem Potential, also gewissermaßen die Änderung der Leitfähigkeit durch die Temperatur, so scheint diese vom Druck wesentlich unabhängig; bei allen untersuchten Drucken genügte z. B. ungefähr die gleiche Erhitzung, um die Stromstärke (bei konstantem Spitzenpotential) auf den doppelten Wert zu bringen. Er betrug in dem Temperaturintervall zwischen 450 und 650°. Die mittlere Zunahme der Stromstärke J pro Grad Erwärmung

bei $p =$	100	200	300	400
	0,14	0,16	0,14	0,17 J

1) Bei Temperaturen über 650° scheint die Zunahme der Stromstärke mit der Temperatur wieder geringer zu werden; daher haben die Kurven, welche J als Funktion von T bei konstantem V geben, dort einen Wendepunkt; vgl. auch die beigegebene Fig. 5.

Ob bei $p = 100$ ein ähnlicher Wert sich ergeben hätte, konnte nicht bestimmt werden, da hier, sobald der negative Spitzenstrom überhaupt einsetzt, J sofort den maximalen Wert annimmt, den die zur Verfügung stehende Maschine zu liefern imstande war; daß die Zahlen nicht noch besser übereinstimmen, kann möglicherweise seinen Grund darin haben, daß sie als Mittelwerte aus nicht ganz gleichen Temperaturintervallen berechnet wurden; überdies sind die Stromstärken des negativen Spitzenstromes nicht immer konstant, und nehmen z. B., wenn längere Zeit die Entladung im Gange ist, nicht unwesentlich ab. Jedenfalls aber geht aus den angegebenen Werten hervor, daß die Verminderung des Widerstandes bez. Vergrößerung der Leitfähigkeit nicht ebenso wie die Herabsetzung des —M.P. mit abnehmender Gasdichte immer geringer wird.

Die folgenden Tabellen geben wieder den ganzen Verlauf zweier Versuchsreihen bei positiver Zylinderladung, die mit den auf p. 24 u. 25 aufgestellten korrespondieren.

Tabelle XI.

Temp.	$p = 200$ Spannung	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400
20°	Stromstärke	0	0	0	0	12	30	42	60
230		0	0	0	0	15	30	44	68
410		0	0	0	0—2	17	37	60	88
490		0	0	4—8	14	31	52	82	130
620		0,2	0,3	12	30	60	100	160	
700		2	2	13	35	64	108		

Tabelle XII.

Temp.	$p = 400$ Spannung	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000
20°	Stromstärke	0	0	0	0	22	29	38	
230		0	0	0	0	24	34	42	52
390		0	0	0	10	26	38	48	58
480		3*	7	16	22	33	46	58	
565		11*	19	25	40	52	69		

* M.P. bei $V = 1090$.

Diese beiden Tabellen werden veranschaulicht durch die Figg. 6 und 7, welche die Stromcharakteristiken bei verschie-

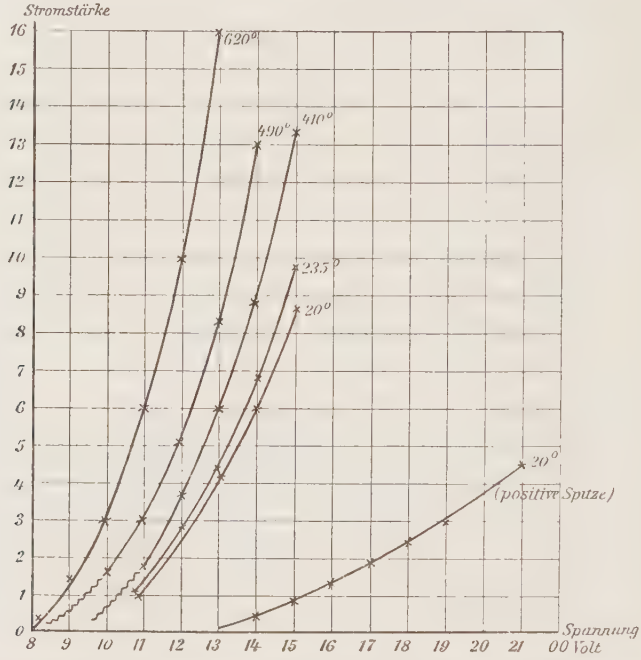


Fig. 6. Kurven der Stromcharakteristik bei $p = 200$ mm Anfangsdruck (bei 20°) (negative Spitze).

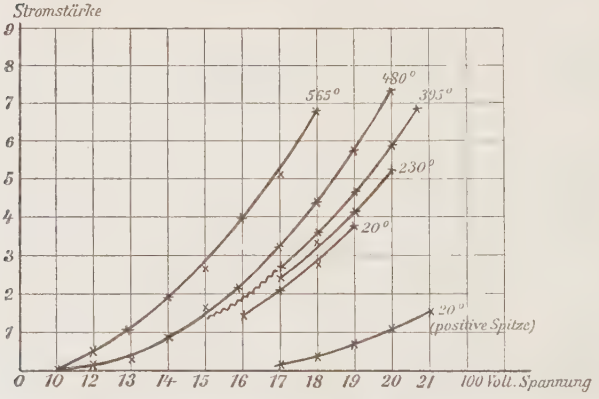


Fig. 7. Kurven der Stromcharakteristik bei $p = 400$ mm Anfangsdruck (bei 20°) (negative Spitze).

denen Temperaturen darstellen; die einzelnen Kurven sind Isothermen, die Abszissen sind die Spannungen in 100 Volt, die Ordinaten die zugehörigen Stromstärken in willkürlichen Einheiten; das Gebiet der zuckenden Entladungsstöße ist durch gebrochene Linien (⁓⁓⁓) angedeutet. Die wesentlich flacheren Kurven sind die entsprechenden Charakteristiken des positiven Spitzenstromes bei Zimmertemperatur.

Versuche in der mit Stickstoff gefüllten Röhre.

Da in reinem Stickstoff die Erscheinungen sich qualitativ von denen in atmosphärischer Luft nicht unterscheiden, wurde nur bei einer Gasdichte gearbeitet (bei $p = 300$ mm bei Zimmertemperatur).

Sowohl +M.P. als −M.P. liegen tiefer als unter sonst gleichen Umständen in Luft, die Stromstärken sind größer, vor allem der negative Spitzenstrom ist von Anfang an so heftig[1]), daß, wenn er einmal eingesetzt hatte, das Potential kaum noch gesteigert werden konnte; −A.P. lag immer sehr hoch, und in dem Augenblick, wo es überschritten war, sank die Spannung um 300—400 Volt. Bei Temperaturen über 500° fallen dagegen auch hier −A.P. und −M.P. zusammen in den früher als M_T bezeichneten Wert; im Temperaturintervall zwischen 400 und 500° treten gleichfalls unter −M.P. noch stoßweise Entladungen auf. +M.P. wird durch die Erwärmung nicht wesentlich beeinflußt, zu bemerken ist nur, daß im Gegensatz zu den Versuchen in Luft jetzt manchmal auch bei Zimmertemperatur unter +M.P. noch kurze stoßweise Entladungen stattfanden.

Die folgenden Werte wurden bei fünf aufeinander folgenden Versuchsreihen fast genau übereinstimmend gefunden.

Tabelle XIII.

Temp.	+M.P.	−M.P.
20°	1300	900
210	1320 Stöße bis 1220	890
390	1320 „ „ 1250	870 Stöße bis 820
490	1320 „ „ 1210	700 Stetiger Übergang nach Null
600	1300 „ „ 1200	700
670		700
740		700

1) Dies wurde auch von Warburg gefunden.

Dabei war zwischen der dritten und vierten Beobachtungsreihe der Apparat mit frisch bereitetem Gas gefüllt worden.

Die auf p. 24 erwähnten störenden Ströme, die bei Rotglut im Galvanometer auftraten, waren im Stickstoff, vor allem bei negativer Plattenladung, viel geringer als in Luft.

Zum Vergleich wurde in den Apparat nochmals trockene Luft eingelassen und mit der gleichen Spitze eine Versuchsreihe ausgeführt. Es ergab sich bei $p = 300$

$$+ \text{M.P.} = 1550, \quad - M_0 = 1200, \quad - M_T = 970,$$

alles Werte, die bedeutend über den entsprechenden für Stickstoff liegen.

Zusammenstellung der Resultate.

Das Minimumpotential des negativen Spitzenstromes bei nicht bestrahlter Spitze ist keine absolut konstante Größe, insbesondere, wenn die Spitze ganz neu ist; nach einiger Zeit jedoch nimmt es (vor allem bei Drucken unter 500 mm) einen Wert an, der nicht nur sehr lange erhalten bleibt, sondern auch, wenn er durch irgendwelche Einflüsse (Erhitzung, Bestrahlung mit Radium) verändert worden ist, bei Herstellung der alten Versuchsbedingungen immer wiederkehrt. Durch Erhitzung über Rotglut wird — M.P. wesentlich erniedrigt, bis auf einen Wert M_T, der durch weitere Temperatursteigerung nicht mehr wesentlich beeinflußt wird; auch dieser Wert kehrt unter gleichen Versuchsbedingungen immer wieder.

Für die Art, wie der Spitzenstrom verschwindet, also wie — M.P. eintritt, sind drei Möglichkeiten zu unterscheiden:

1. Der Strom setzt bei einem endlichen Wert plötzlich und scharf aus (meist bei Drucken unter 500 mm bei Zimmertemperatur); dann ist M.P. kleiner als A.P.

2. Nachdem der dauernde Strom ausgesetzt hat, finden noch stoßweise Entladungen statt (bei Drucken über 600 mm in Zimmertemperatur; bei allen Drucken in Temperaturen zwischen 300 und 500°).

3. Der Strom verschwindet ganz stetig; dann ist immer M.P. = A.P. (bei Temperaturen über 500°; nach Gorton auch bei Bestrahlung mit Radium und ultraviolettem Licht).

Das M.P. des positiven Spitzenstromes ist in der Regel sehr konstant, die Wirkung der Erwärmung ist sehr unbedeutend, eine starke Herabsetzung bei Erhitzung über Rotglut findet nicht statt.

Die Stromstärken wachsen bei Temperatursteigerung langsam, für den negativen Spitzenstrom über 500° sehr rasch.[1])

Die Erscheinungen sind in atmosphärischer Luft und in reinem Stickstoff qualitativ die gleichen.

Schlußbemerkung.

Nach J. Stark[2]) wird die Differenz zwischen A.P. und M.P. jeder selbständigen elektrischen Strömung bedingt durch den Unterschied des Potentialgefälles an den Elektroden im statischen bez. dynamischen Felde: ein Strom findet erst statt, wenn an der Entladeelektrode auf der mittleren freien Weglänge der Spannungsabfall gleich der Ionisierungsspannung des positiven Ions sei. Diese Erklärung reicht für die beim Spitzenstrom auftretenden Unterschiede zwischen A.P. und M.P. nicht aus; A.P. hat hier vielmehr im allgemeinen einen anderen Wert, als von dieser Theorie gefordert wird. Das folgt schon aus dem Umstande, daß es nach allen Beobachtern ganz inkonstant ist und zuweilen, wie auch von Stark[3]) angegeben wird (vor allem für den negativen Spitzenstrom), unverhältnismäßig hoch liegt. Ein solcher Entladeverzug wird erklärt durch den vollständigen Mangel von Ionen an der Entladeelektrode; er soll beseitigt werden durch sekundäre Ionisierung des Gases, etwa durch Becquerelstrahlen oder durch Erhitzen. Dies hat sich nur teilweise für den Spitzenstrom bestätigt. Denn während z. B. durch Bestrahlung mit Radium A.P. erniedrigt wurde, war dies bei Vorbeisaugen ionisierter Luft an der Spitze nicht der Fall. Ferner wird die Verzögerung regelmäßig größer, wenn die Spitze längere Zeit im Gebrauch

1) Dieses entspricht ganz dem von Oberbeck untersuchten Verhalten eines Stromes, der von einer scharfen Schneide zu einer Platte übergeht. Wied. Ann. **60.** p. 193. 1897.

2) J. Stark, l. c. p. 225.

3) J. Stark, l. c. p. 187.

ist, und tritt dann nicht nur vor Beginn der Entladung auf, sondern auch beim Aussetzen des Stromes (Erhöhung des M.P., stoßweise Entladungen), wo doch sicher das Gas vor der Spitze hinreichend ionisiert ist. Es scheinen also hier für die Verzögerung noch andere Gründe vorhanden zu sein, und zwar sieht es ganz so aus, als ob sich an der Spitze infolge der Entladung eine Oberflächenschicht bildete, welche den Widerstand an der Spitze vergrößert, die Entladung zu verhindern sucht und durch die angegebenen Mittel in ihrer Wirkung vermindert oder beseitigt wird. In der Tat hat Warburg[1]) auch gefunden, daß die Bildung einer Oxydhaut auf einer Kupferspitze den gleichen Effekt hat, der bei Reduzierung des Kupfers wieder verschwindet, ebenso aber auch bei Bestrahlung mit ultraviolettem Licht; dasselbe zeigte sich bei einer amalgamierten Zinkspitze.

1) E. Warburg u. F. R. Gorton, l. c.

Lebenslauf.

Ich bin geboren am 19. März 1881 in München; ich besuchte dort die Volksschule und das k. Wilhelmsgymnasium, welches ich im Sommer 1899 absolvierte. Nach Erfüllung meiner militärischen Dienstpflicht widmete ich mich auf der Ludwig-Maximilians-Universität in München dem Studium der Naturwissenschaften, vor allem der Physik und Mathematik.